



DEUTSCHES
PATENTAMT

21 Aktenzeichen: P 42 21 918.3-51
22 Anmeldetag: 3. 7. 92
43 Offenlegungstag: 13. 1. 94
45 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 11. 7. 96

DE 4221918 C 2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:

ANT Nachrichtentechnik GmbH, 71522 Backnang, DE

72 Erfinder:

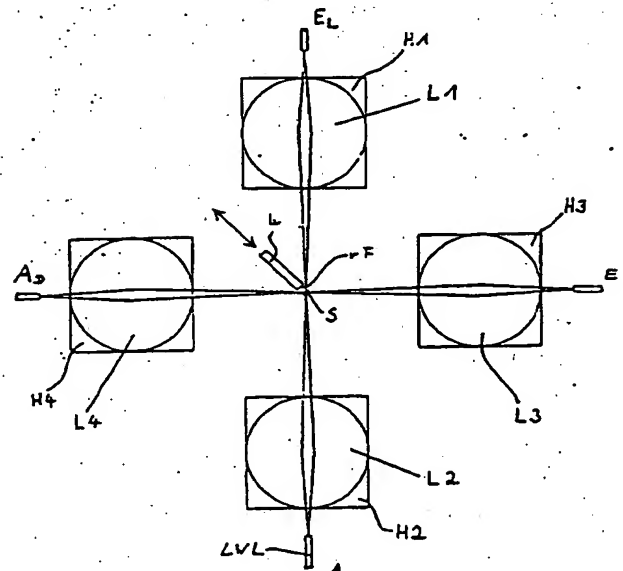
Kuke, Albrecht, Dr., 7159 Auenwald, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:

US 50 28 138

54 Optischer Schalter

57 Optischer Schalter mit einer Überbrückungsposition, in der mindestens ein erster optischer Eingang (E) mit einem ersten optischen Ausgang (A) verbunden ist, und mit einer Durchschalteposition, in der mindestens der erste optische Eingang (E) mit einem zweiten optischen Ausgang (A₂) und ein zweiter optischer Eingang (E₁) mit dem ersten optischen Ausgang (A) verbunden ist, wobei alle optischen Eingänge (E, E₁) und Ausgänge (A, A₂) Abbildungslinsen (L1 bis L4; L5, L6) aufweisen und so ausgerichtet sind, daß sich ihre Strahlungsachsen in einem Punkt (S) schneiden, und wobei eine bewegbare, eine reflektierende Fläche (rF) aufweisende Strahlumlenkvorrichtung (U) vorhanden ist, welche in einer Position mit ihrer reflektierenden Fläche (rF) in dem Schnittpunkt (S) der Strahlungsachsen liegt und mit welcher zwischen der Überbrückungsposition und der Durchschalteposition umgeschaltet wird, dadurch gekennzeichnet, daß die Abbildungslinsen (L1 bis L4; L5, L6) derart ausgebildet und angeordnet sind, daß am Punkt (S) jeweils ein Zwischenbild der Endfläche des jeweiligen optischen Eingangs (E, E₁) derart erzeugt wird, daß die vom Punkt (S) jeweils ausgehenden Strahlenbündel einen Öffnungswinkel aufweisen, der im Vergleich zu den aufgrund von Fertigungstoleranzen möglichen Änderungen der Winkellage der Strahlumlenkvorrichtung (U) groß ist, und daß die Abbildungslinsen (L1 bis L4; L5, L6) Kugellinsen aus Silizium sind.



DE 4221918 C 2

Die Erfindung betrifft einen optischen Schalter nach dem Oberbegriff des Patentanspruches wie aus der DE 36 08 134 A1 bekannt.

Aus der US 5 026 136 ist ein optischer Schalter bekannt mit einer Überbrückungs- und einer Durchschalteposition, wobei eine bewegbare, eine reflektierende Fläche aufweisende Strahlumlenkvorrichtung vorhanden ist, die in einer Position mit ihrer reflektierenden Fläche im Fokus des zu schaltenden Lichtbündels liegt und mit der zwischen den beiden Positionen umgeschaltet wird. Die Abbildung erfolgt teilweise durch Spiegel. Die Spiegel sind derart ausgebildet und angeordnet, daß am genannten Fokus ein Zwischenbild der Endfläche des Eingangslichtwellenleiters erzeugt wird.

Aus der Beschreibungseinleitung der DE 41 01 044 C1 ist ein optischer Kurzschlußschalter bekannt, der hier anhand von Fig. 3 beschrieben wird. Zwischen einem Eingangslichtwellenleiter LWL1 und einem Ausgangslichtwellenleiter LWL4 befindet sich ein verschiebbarer Spiegel SP. Licht, das durch den Eingangslichtwellenleiter LWL1 einfällt, wird am Spiegel SP reflektiert und auf eine Fotodiode PD eines Teilnehmers abgebildet. Das vom Teilnehmer ausgesendete Signal wird vom Laser L über den Spiegel SP zum Ausgangslichtwellenleiter LWL4 umgelenkt. Wenn ein Störfall beim Teilnehmer auftritt, wird der Spiegel SP aus dem Strahlengang herausgeschoben und das Licht gelangt direkt vom Eingangslichtwellenleiter LWL1 zum Ausgangslichtwellenleiter LWL4. Vor jedem Lichtwellenleiter befinden sich Strahlkollimatoren L1 bis L4. Durch diese wird das Licht im Bereich zwischen den Strahlkollimatoren parallelisiert. Die Anordnung hat den Vorteil, daß die Lichtwege nicht durch Strahlteilung, sondern durch Strahlumlenkung getrennt werden. Dadurch wird in jedem Fall ein sehr hoher Anteil des Lichts von den Eingängen zu den Ausgängen gelangen. Dieser Vorteil kommt aber nur dann zum Tragen, wenn die optischen und elektrooptischen Komponenten mit sehr hoher Präzision aufeinander einjustiert sind. Erfolgt das Umschalten durch ein mechanisches Wegziehen des Spiegels, so sind sehr präzise mechanische Anschläge erforderlich, die nur mit verhältnismäßig hohem Aufwand hergestellt werden können.

Ein Nachteil dieser Art von Lichtumschaltung ist, daß verhältnismäßig große Wege bei der Bewegung des Spiegels zurückgelegt werden müssen. Der Spiegel muß nämlich mindestens um den Durchmesser des kollimierten Strahls bewegt werden. Je nach Größe und Brennweite der Linsen sind dies ca. 150 µm bis 200 µm. Ein weiterer Nachteil der bekannten Lösung ist, daß die Winkellage des Spiegels sehr kritisch in die laterale Lage des Bildes beim Einkoppeln in die Faser eingeht. Eine genügend geringe Winkeltoleranz ist bei beweglichen Spiegeln wegen des stets vorhandenen Bewegungsspiels nur sehr schwer zu erreichen.

Es ist Aufgabe der Erfindung, einen optischen Schalter der eingangs genannten Art anzugeben, der eine möglichst niedrige Koppeldämpfung aufweist.

Die Aufgabe wird durch eine Anordnung mit den Merkmalen des Patentanspruches gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen angegeben.

Beim Einsatz der optischen Nachrichtentechnik im Ortsnetz ist vorgesehen, die Teilnehmer in einer Ringleitung miteinander zu verbinden. Hierbei wird das über einen Lichtwellenleiter übertragene Signal bei jedem

Teilnehmer mit einer Fotodiode empfangen, verstärkt und über einen Lasersender wieder auf eine Ausgangsfaser an den nächsten Teilnehmer weitergeleitet. Falls in dieser Kette von Teilnehmern einer ausfällt, wären alle dahinter befindlichen Teilnehmer ohne Signal. Aus diesem Grunde ist ein optischer Kurzschlußpfad zwischen Empfangslichtwellenleiter und Sendelichtwellenleiter erforderlich. Dieser Kurzschlußpfad darf erst dann eingeschaltet werden, wenn das System des betreffenden Teilnehmers tatsächlich ausgefallen ist. Es sind also optische Schalter erforderlich, die eine Überbrückungsposition und eine Durchschalteposition aufweisen.

Beim Stand der Technik wird zwischen den Strahlkollimatoren ein kollimierter Strahl erzeugt. Bei der Erfindung erzeugen die Abbildungslinsen an den optischen Eingängen ein Zwischenbild am Ort der eingeschobenen Strahlumlenkvorrichtung. Ebenso dienen die Abbildungslinsen an den optischen Ausgängen zur Abbildung des Zwischenbildes auf das Endbild am optischen Ausgang. Zumeist befinden sich an den Ein- und Ausgängen jeweils Lichtwellenleiterenden.

Bei der Umlenkung eines kollimierten Strahls wirken sich kleinste Änderungen in der Winkellage der Strahlumlenkvorrichtung auf die Position des Endbildes nach der Fokussierung aus und verschlechtern dadurch den Koppelwirkungsgrad. Anders ist dies bei der Abbildung des Zwischenbildes auf das Endbild am Ausgang. Hier hängt die Lage des Endbildes nicht von der Strahlrichtung im Zwischenbild ab. Ein Fehler in der Strahlrichtung muß nur klein gegenüber dem Öffnungswinkel des abbildenden Bündels sein. Dieser Öffnungswinkel ist gleich dem Öffnungswinkel des aus dem Lichtwellenleiter am Eingang austretenden Lichtbündels geteilt durch die Vergrößerung M_1 vom Eingang bis zum Zwischenbild. Diese Toleranz in der Winkellage der Strahlumlenkvorrichtung läßt sich leicht einhalten.

Ein weiterer Vorteil ist, daß der Umschalter ohne Justierung der Einzelkomponenten auskommt. Die erforderliche Genauigkeit wird durch hochgenaue Ätzprozesse erreicht, wobei zur Strukturierung der Aufnahme die Silizium-Ätztechnik in Verbindung mit der LIGA-Technik verwendet wird.

Auch ein geringes Vergrößerungsverhältnis M_1 ist vorteilhaft, um ein möglichst kleines Zwischenbild und damit einen geringen Hub für die bewegliche Strahlumlenkvorrichtung zu erhalten. Ebenso ist ein geringes Vergrößerungsverhältnis vorteilhaft, um eine große Winkeltoleranz der Strahlumlenkvorrichtung zu erreichen. Bei Verwendung von Kugellinsen führt ein geringes Vergrößerungsverhältnis aber zu einer Zunahme der sphärischen Aberration, da der Abstand zwischen Gegenstand (Faserstirnfläche) und Linsenscheitel zunimmt. Die Gegenstandsweite und damit die sphärische Aberration läßt sich verringern, wenn wie im Zahlenbeispiel Linsen mit einem großen Brechungsindex verwendet werden. Ein Material mit noch höherem Brechungsindex, aus dem auch Kugellinsen hergestellt werden können, ist Silizium. Der Brechungsindex bei 1300 nm beträgt hier $n_{Si} = 3,5053$. Mit Kugellinsen aus Silizium lassen sich keine kollimierten Strahlen herstellen, da die Brennweite kleiner ist als der Radius. Das maximale Vergrößerungsverhältnis von 2,3 läßt sich einstellen, wenn die Faser direkt den Scheitel der Siliziumlinse berührt.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden anhand der Figuren beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 einen erfindungsgemäßen optischen Umschalter mit vier Linsen,

Fig. 2 einen erfindungsgemäßen optischen Umschalter mit zwei Linsen und

Fig. 3 einen optischen Umschalter nach dem Stand der Technik.

Fig. 1 zeigt einen erfindungsgemäßen optischen Schalter mit einem ersten optischen Eingang E, einem ersten optischen Ausgang A, mit einem zweiten optischen Eingang E_L an dem sich ein Sendelaser befindet, und einem zweiten optischen Ausgang A_D , an dem sich eine Empfangsdiode befindet. An allen Eingängen und Ausgängen sind Lichtwellenleitenden LWL vorgesehen. In der Durchschalteposition, dem Normalfall, geht Licht vom ersten optischen Eingang E zur Empfangsdiode und vom Sendelaser zum ersten optischen Ausgang A. In der Überbrückungsposition wird eine Strahlumlenkvorrichtung U mit einer reflektierenden Fläche rF in den Strahlengang geschoben, so daß das Licht vom Eingang E auf den Ausgang A fällt. In der Überbrückungsposition befindet sich die reflektierende Fläche rF der Strahlumlenkvorrichtung im Schnittpunkt S der Strahlungsachsen aller optischen Eingänge und Ausgänge. Alle optischen Eingänge und Ausgänge weisen in ihrem Strahlengang eine Abbildungslinse L1 bis L4 auf. Diese Abbildungslinsen sind in Halterungen H1 bis H4 befestigt. Die Abbildungslinsen L1 bis L4 sind derart ausgebildet und angeordnet, daß am Schnittpunkt S der Strahlungsachsen jeweils ein Zwischenbild erzeugt wird.

Die Aufnahmen für die Lichtwellenleiter und die Halterungen für die Abbildungslinsen sind entweder in Silizium-Ätztechnik oder in LIGA-Technik mit sehr hoher Genauigkeit hergestellt. Die verschiebbare Strahlumlenkvorrichtung wird in LIGA-Technik hergestellt und durch einen elektrostatischen oder piezoelektrischen Antrieb bewegt. Durch einen solchen Antrieb sind nur verhältnismäßig kleine Wegstrecken von einigen Mikrometern zu überbrücken. In einem durchgerechneten Zahlenbeispiel werden für die Strahlkollimatoren L1 bis L4 Glaskugeln aus einem Glas mit einer Brechzahl von $n = 1,9796$ bei 1300 nm mit einem Durchmesser von $900 \mu\text{m}$ eingesetzt. Die Brennweite beträgt $455 \mu\text{m}$. Es wird eine Gegenstandsweite g (von der Lichtwellenleiterendfläche bis zum Linsenmittelpunkt) von $700 \mu\text{m}$ gewählt. Die Bildweite b beträgt dann $1273 \mu\text{m}$ (Linsenmittelpunkt bis zum Schnittpunkt S). Der Abstand zwischen den Abbildungslinsen (von Mittelpunkt zu Mittelpunkt) ist doppelt so groß wie die Bildweite, also $2546 \mu\text{m}$. Die Vergrößerung vom Lichtwellenleiter am Eingang bis zum Zwischenbild am Schnittpunkt S beträgt dabei $M_1 = 1,819$. Die Gesamtvergrößerung vom Lichtwellenleiter am Eingang zum Lichtwellenleiter am Ausgang ist $M_2 = 1$, d. h., die Lichtwellenleitenden werden optimal aufeinander abgebildet. Bei einem Fleckdurchmesser der Lichtwellenleitenden von $9 \mu\text{m}$ ist die Größe des Zwischenbildes $16,4 \mu\text{m}$. Die reflektierende Fläche der Strahlumlenkvorrichtung muß also nur eine Höhe H von minimal $16,4 \mu\text{m}$ und eine Breite B von minimal $16,4 \mu\text{m} \cdot \sqrt{2} = 23,2 \mu\text{m}$ besitzen. Der erforderliche Hub a muß mindestens so groß wie die Mindestbreite des Spiegels sein, also $a > 25 \text{ mm}$. Dieser Verstellweg ist wesentlich kleiner als bei der Umschaltung eines kollimierten oder aufgeweiteten Strahls erforderlich wäre und läßt sich durch mikromechanisch herstellbare Antriebstechniken, wie Piezoantrieb, elektrostatischer Antrieb oder Bimetallantrieb leicht verwirklichen.

Bei der Umlenkung eines kollimierten Strahls wirken sich kleinste Änderungen in der Winkellage des Spiegels

auf die Position des Endbildes nach der Fokussierung aus und verschlechtern dadurch den Koppelwirkungsgrad. Anders ist dies bei der Abbildung des Zwischenbildes auf das Endbild. Hier hängt die Lage des Endbildes nicht von der Strahlrichtung im Zwischenbild ab. Ein Fehler in der Strahlrichtung muß nur klein gegenüber dem Öffnungswinkel des abbildenden Bündels sein. Dieser Öffnungswinkel ist gleich dem Öffnungswinkel des aus dem Lichtwellenleiter austretenden Lichtbündels geteilt durch die Vergrößerung M_1 , also in unserem Beispiel $5,5^\circ / 1,82 = 3^\circ$. Diese Toleranz in der Winkellage des Spiegels läßt sich leicht einhalten.

Stellt man die Strahlkollimatoren in Form von Kugeln aus Silizium her, das einen Brechungsindex $n_{\text{Si}} = 3,5053$ aufweist, so kann man ein maximales Vergrößerungsverhältnis von 2,3 einstellen, wenn das Lichtwellenleiterende direkt den Scheitel der Siliziumlinse berührt. Ein kollimierter Strahl ist mit Kugellinsen aus Silizium nicht realisierbar, da die Brennweite kleiner ist als der Radius. Das minimale Vergrößerungsverhältnis für eine Anordnung nach Fig. 1 ist erreicht, wenn sich zwei benachbarte Kugellinsen gerade berühren, die Bildweite ist dann $r \cdot \sqrt{2}$. Dies ergibt ein minimales Vergrößerungsverhältnis von 1,03. Da die reflektierende Fläche mit einer Breite B von Fleckdurchmesser $\cdot M_1 \cdot \sqrt{2} = 15 \mu\text{m}$ noch zwischen die Linsen passen muß, ist die minimale Bildweite b etwas größer, nämlich $(r + B/2) \cdot \sqrt{2}$. Dies ergibt ein minimales Vergrößerungsverhältnis von 1,06. Die Abstände bei einem Kugelradius von $450 \mu\text{m}$ sind dann $g = 611 \mu\text{m}$ und $b = 646 \mu\text{m}$.

Bei dieser Anordnung kann der Spiegel noch kleiner sein ($B \times H = 14 \mu\text{m} \cdot 9 \mu\text{m}$) als im Zahlenbeispiel mit den Glaskugeln. Auch der minimale Hub wird geringer und die Winkeltoleranz der reflektierenden Fläche wird um den Faktor 1,8 größer.

Auch Fig. 2 zeigt einen erfindungsgemäßen optischen Schalter mit entsprechenden Eingängen E_L , E, Ausgängen A, A_D , Abbildungslinsen L5, L6, einem Schnittpunkt S der Strahlungsachsen und einer Strahlumlenkvorrichtung U mit einer reflektierenden Fläche rF. In diesem Ausführungsbeispiel werden nur zwei Kugellinsen L5 und L6 benötigt, die von jeweils zwei Lichtbündeln durchdrungen werden. Die Lichtbündel werden an zwei senkrecht stehenden, verspiegelten Wänden W1 und W2, die vorzugsweise in LIGA-Technik hergestellt sind, umgelenkt. Die Aufnahmen für die Lichtwellenleiter und die Linsen sind entweder in Silizium-Ätztechnik oder in LIGA-Technik mit sehr hoher Genauigkeit hergestellt. Auch die Strahlumlenkvorrichtung ist in LIGA-Technik hergestellt und wird von einem elektrostatischen Antrieb bewegt.

Patentanspruch

Optischer Schalter mit einer Überbrückungsposition, in der mindestens ein erster optischer Eingang (E) mit einem ersten optischen Ausgang (A) verbunden ist, und mit einer Durchschalteposition, in der mindestens der erste optische Eingang (E) mit einem zweiten optischen Ausgang (A_D) und ein zweiter optischer Eingang (E_L) mit dem ersten optischen Ausgang (A) verbunden ist, wobei alle optischen Eingänge (E, E_L) und Ausgänge (A, A_D) Abbildungslinsen (L1 bis L4; L5, L6) aufweisen und so ausgerichtet sind, daß sich ihre Strahlungsachsen in einem Punkt (S) schneiden, und wobei eine bewegbare, eine reflektierende Fläche (rF) aufweisende Strahlumlenkvorrichtung (U) vorhanden ist, welche

in einer Position mit ihrer reflektierenden Fläche (rF) in dem Schnittpunkt (S) der Strahlungsachsen liegt und mit welcher zwischen der Überbrückungsposition und der Durchschalteposition umgeschaltet wird, dadurch gekennzeichnet, daß die 5 Abbildungslinsen (L1 bis L4; L5, L6) derart ausgebildet und angeordnet sind, daß am Punkt (S) jeweils ein Zwischenbild der Endfläche des jeweiligen optischen Eingangs (E, E_L) derart erzeugt wird, daß die vom Punkt (S) jeweils ausgehenden Strahlenbündel einen Öffnungswinkel aufweisen, der im 10 Vergleich zu den aufgrund von Fertigungstoleranzen möglichen Änderungen der Winkellage der Strahlumlenkvorrichtung (U) groß ist, und daß die Abbildungslinsen (L1 bis L4; L5, L6) Kugellinsen 15 aus Silizium sind.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

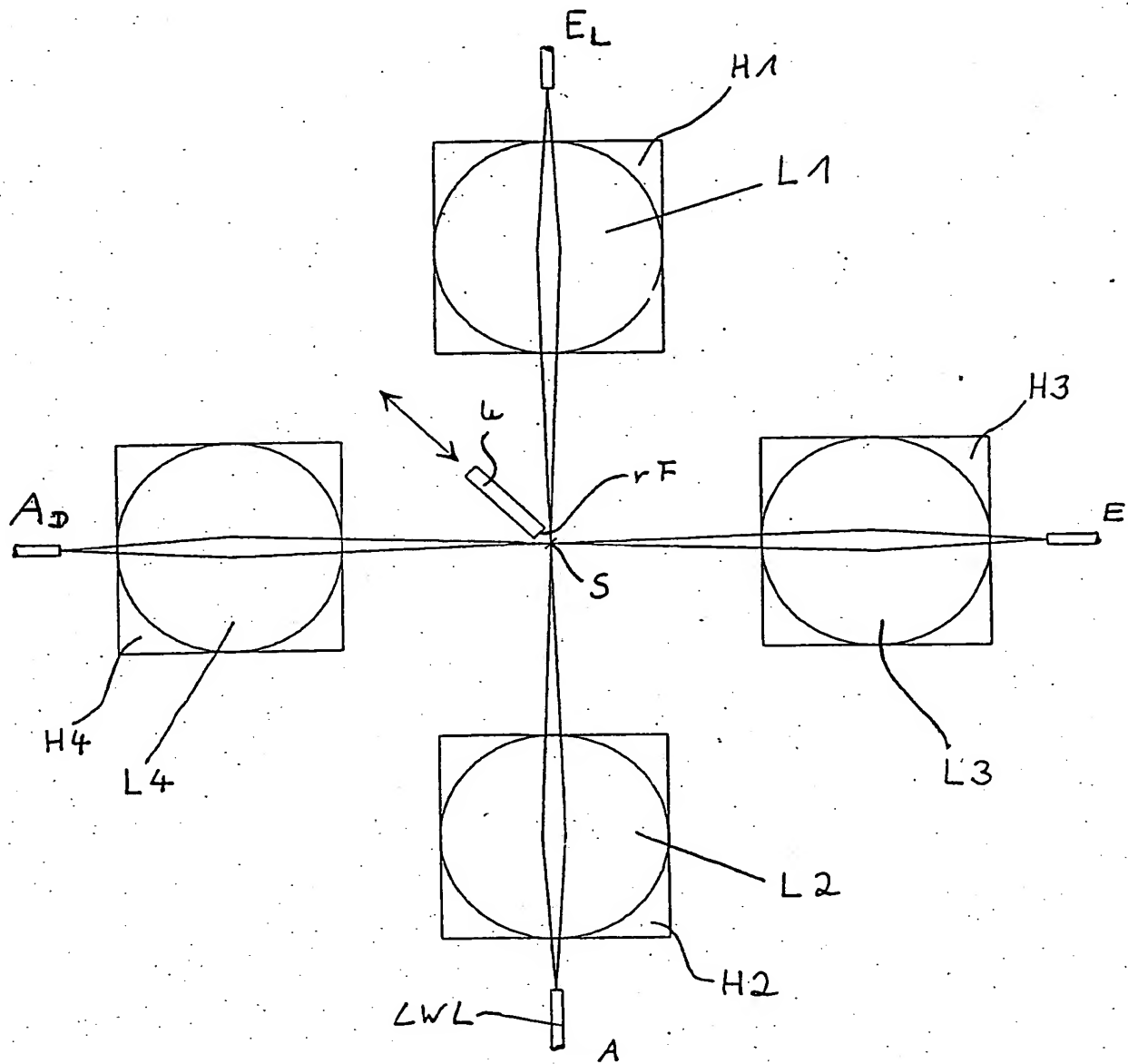


Fig. 1

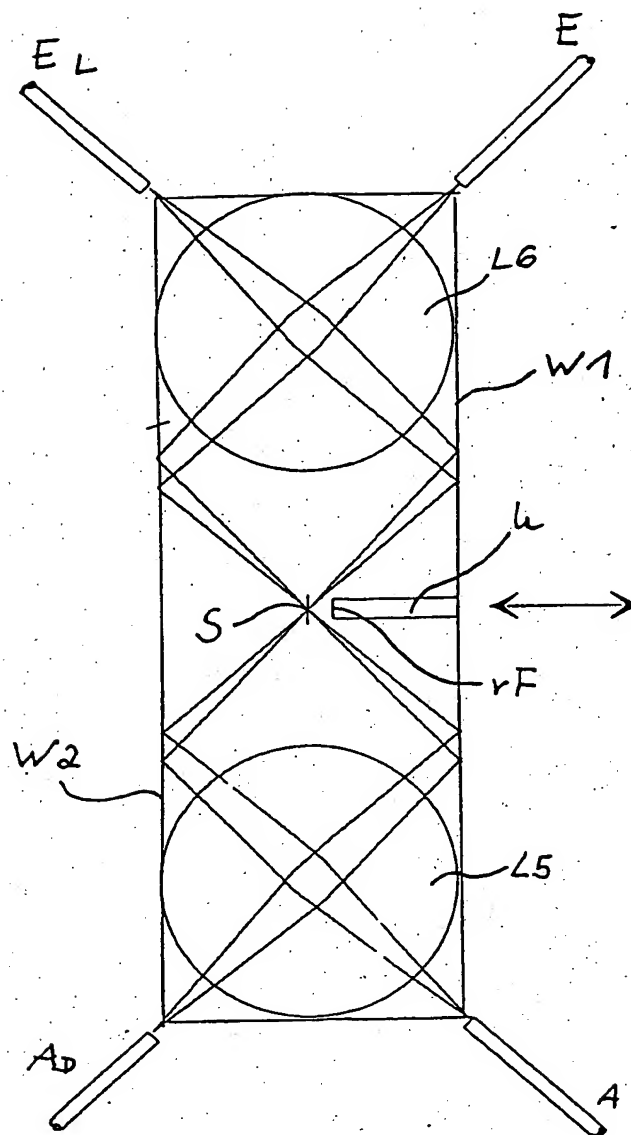


Fig. 2

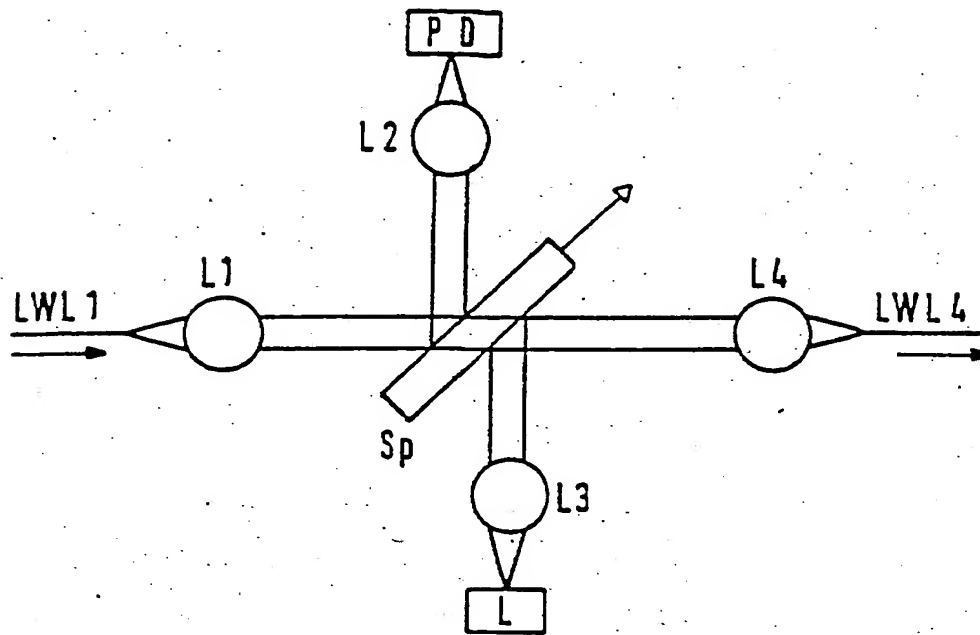


Fig. 3